

УДК 544.6.018.47-039.7

## ВЯЗКОСТЬ ХЛОРАЛЮМИНАТНОЙ ИОННОЙ ЖИДКОСТИ 1-БУТИЛ-3-МЕТИЛИМИДАЗОЛИЯ ХЛОРИДА

**В. А. Эльтерман<sup>1</sup>, А. В. Бороздин<sup>2</sup>, П. Ю. Шевелин<sup>3</sup>,  
Л. А. Елшина<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup> Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН,  
Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> vladimir.elterman@yandex.ru

**Аннотация.** Получены экспериментальные значения кинематической вязкости ионной жидкости  $\text{AlCl}_3$ –1-бутил-3-метилимидазолий хлорид ( $[\text{BMIIm}]\text{Cl}$ ) с мольными отношениями  $\text{AlCl}_3/[\text{BMIIm}]\text{Cl}$  0,8; 0,9; 1,0; 1,3; 1,7; 2,0 в температурном диапазоне от 0 до 100 °С. Значения кинематической вязкости лежат в диапазоне от 3,148 до 40,959  $\text{мм}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ . Показано, что кинематическая вязкость уменьшается при увеличении концентрации вводимого  $\text{AlCl}_3$ . Можно предположить, что энергия катион-анионного взаимодействия меняется в следующем порядке:  $[\text{BMIIm}]^+$  и  $\text{Al}_2\text{Cl}_7^- < [\text{BMIIm}]^+$  и  $\text{AlCl}_4^- < [\text{BMIIm}]^+$  и  $\text{Cl}^-$ .

**Ключевые слова:** ионная жидкость, алюминий-ионный аккумулятор, вязкость

## VISCOSITY OF CHLORALUMINATE IONIC LIQUID 1-BUTYL-3-METHYLIMIDAZOLIUM CHLORIDE

**V. A. Elterman<sup>1</sup>, A. V. Borozdin<sup>2</sup>, P. Yu. Shevelin<sup>3</sup>, L. A. Yolshina<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup> Institute of High-Temperature Electrochemistry of the UB of the RAS,  
Ekaterinburg, Russia

<sup>2</sup> Ural Federal University named after the First  
President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> vladimir.elterman@yandex.ru

**Abstract.** The kinematic viscosity of the  $\text{AlCl}_3$ –1-butyl-3-methylimidazolium chloride ([BMIm]Cl) ionic liquid with  $\text{AlCl}_3$ /[BMIm]Cl molar ratios — 0,8; 0,9; 1,0; 1,3; 1,7; 2,0 were measured in the temperature range from 0 to 100 °C. The kinematic viscosity values are in the range from 3,148 to 40,959  $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . It is shown that the kinematic viscosity decreases with an increase in the introduced  $\text{AlCl}_3$  concentration. It can be assumed that the energy of the cation-anionic interaction changes in the following order:  $[\text{BMIm}]^+$  and  $\text{Al}_2\text{Cl}_7^- < [\text{BMIm}]^+$  and  $\text{AlCl}_4^- < [\text{BMIm}]^+$  and  $\text{Cl}^-$ .

**Keywords:** ionic liquid; aluminium-ion battery; viscosity

Алюминий-ионный аккумулятор открывает большие перспективы в аккумуляторной промышленности. В настоящее время теоретическая емкость алюминиевой аккумуляторной батареи составляет  $8046 \text{ mA} \cdot \text{ч} \cdot \text{см}^{-3}$ , что в 3–4 раза превышает емкость литий-ионных аккумуляторов ( $2062 \text{ mA} \cdot \text{ч} \cdot \text{см}^{-3}$ ) [1]. Она также демонстрирует сверхвысокие скорости заряда и разряда батарей, низкую стоимость и низкую воспламеняемость. Алюминий занимает первое место по распространенности в земной коре среди металлов. Перспективным электролитом для алюминий-ионного аккумулятора является хлоралюминатная ионная жидкость (ИЖ) 1-бутил-3-метилимидазолий хлорид ( $\text{AlCl}_3$ /[BMIm]Cl). Одним из преимуществ такой ИЖ над 1-этил-3-метилимидазолий хлорид ([EMIm]Cl) является более низкая температура плавления. Для индивидуальных солей [BMIm]Cl и [EMIm]Cl температуры плавления равны 65 и 84 °C соответственно [2].

Вязкость ИЖ оказывает существенное влияние на значения ее электропроводности. Это показано произведением Вальдена, которое находится достаточно в узком диапазоне для ИЖ с разными катионами и анионами [3]. По этой причине целью настоящей работы является измерение вязкости хлоралюминатной ИЖ 1-бутил-3-метилимидазолий хлорида в широком концентрационном диапазоне, при молярном отношении  $\text{AlCl}_3$ /[BMIm]Cl (N) от 0,8 до 2,0 в температурном диапазоне от 0 до 100 °C.

Измерение вязкости проводили с помощью стеклянных капиллярных вискозиметров с разными диаметрами капилляра (в зависимости от значения вязкости ИЖ) для определения вязкости непрозрачных жидкостей с известными постоянными вискозиметра. Вискозиметр заполняли исследуемой ИЖ до определенной метки без образования пузырьков аргона в объеме вискозиметра. Вискозиметр устанавли-

ливали вертикально в нагревательную печь с кварцевыми окошками с подсветкой внутри бокса (MBraun UniLab) и в охлаждаемый водно-спиртовой раствор при охлаждении на воздухе. По времени течения жидкости, установленному с помощью секундомера, рассчитывали кинематическую вязкость исследуемых ИЖ. На рис. 1 приведены экспериментальные температурные зависимости кинематической вязкости исследуемой ИЖ при  $N = 0,8; 0,9; 1,0; 2,0$ .

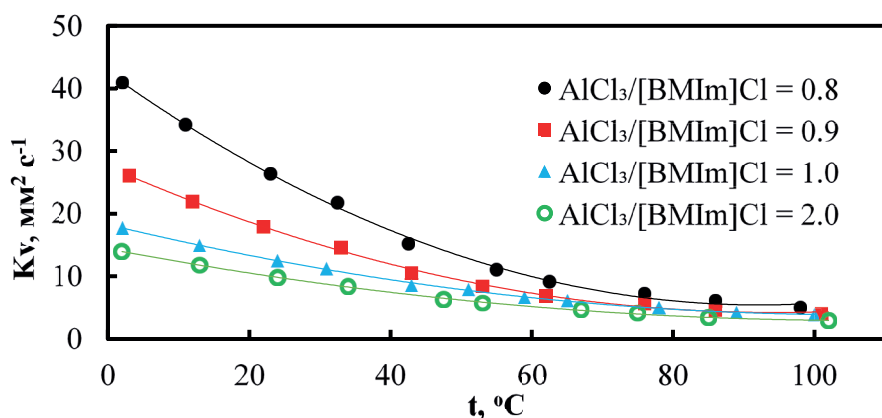


Рис. 1. Зависимость кинематической вязкости ИЖ  $\text{AlCl}_3$ — $[\text{BMIm}]\text{Cl}$  от температуры при  $N = 0,8; 0,9; 1,0; 2,0$

Значения кинематической вязкости лежат в диапазоне от 3,148 до 40,959  $\text{мм}^2 \cdot \text{с}^{-1}$  для исследуемых составов при температурах от 0 до 100 °C. Вязкость каждой ИЖ резко снижается при повышении температуры. Это предполагает, что повышение температуры снижает внутреннее сопротивление потоку ИЖ, а внутреннее сопротивление в основном зависит от катион-анионного взаимодействия ИЖ, которое уменьшается с ростом температуры.

На рис. 2 приведены изотермы кинематической вязкости ИЖ  $\text{AlCl}_3$ — $[\text{BMIm}]\text{Cl}$  для температур 0, 25, 50 и 100 °C в зависимости от концентрации  $\text{AlCl}_3$ , на которых наблюдается ее уменьшение при увеличении концентрации вводимого  $\text{AlCl}_3$ . Можно предположить, что энергия катион-анионного взаимодействия меняется в следующем порядке:  $[\text{BMIm}]^+$  и  $\text{Al}_2\text{Cl}_7^- < [\text{BMIm}]^+$  и  $\text{AlCl}_4^- < [\text{BMIm}]^+$  и  $\text{Cl}^-$ . Таким образом, изменение концентрации анионов приводит к уменьшению вязкости с увеличением концентрации  $\text{AlCl}_3$ , т. к. в щелочных ИЖ

( $N < 1$ ) наблюдается уменьшение концентрации  $\text{Cl}^-$  и увеличение концентрации  $\text{AlCl}_4^-$ , а в кислотных ИЖ ( $N > 1$ ) — уменьшение концентрации  $\text{AlCl}_4^-$  и увеличение концентрации  $\text{Al}_2\text{Cl}_7^-$ .

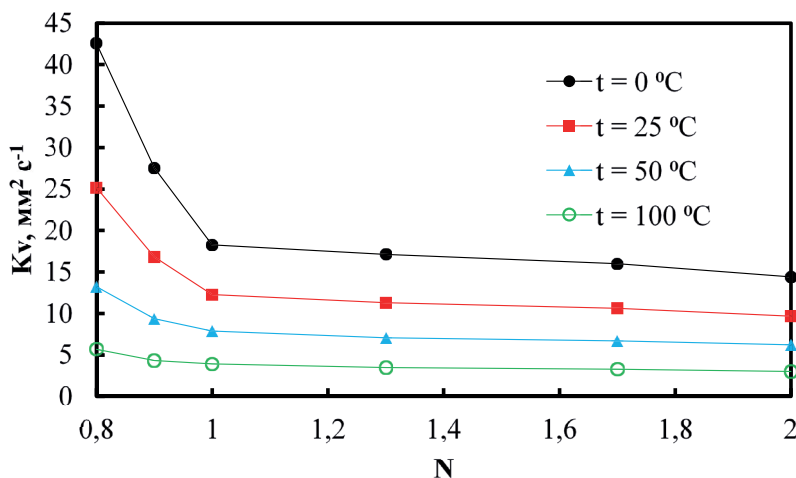


Рис. 2. Зависимость кинематической вязкости ИЖ  $\text{AlCl}_3$ – $[\text{BMIm}]\text{Cl}$  от мольной доли хлорида алюминия при температурах 0, 25, 50 и 100 °C

Получены экспериментальные значения кинематической вязкости ИЖ в исследуемых концентрационном и температурном диапазонах капиллярным методом. Значения кинематической вязкости лежат в диапазоне от 3,148 до 40,959  $\text{мм}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ . Вязкость каждой ИЖ резко снижается при повышении температуры. Это предполагает, что повышение температуры снижает внутреннее сопротивление потоку ИЖ. Показано, что кинематическая вязкость уменьшается при увеличении концентрации вводимого  $\text{AlCl}_3$ . Можно предположить, что энергия катион-анионного взаимодействия меняется в следующем порядке:  $[\text{BMIm}]^+$  и  $\text{Al}_2\text{Cl}_7^- < [\text{BMIm}]^+$  и  $\text{AlCl}_4^- < [\text{BMIm}]^+$  и  $\text{Cl}^-$ .

### Список источников

1. Cathode materials for rechargeable aluminum batteries: current status and progress [Electronic resource] / Z. A. Zafar [et al.] // J. Mater. Chem. A. 2017. Vol. 5, Iss. 12. P. 5646–5660. DOI: 10.1039/C7TA00282C (date of access: 10.11.2020).

2. Properties of 1,3-dialkylimidazolium chloride-aluminum chloride ionic liquids. 2. Phase transitions, densities, electrical conductivities, and viscosities [Electronic resource] / A. A. Fannin [et al.] // J. Phys. Chem. 1984. Vol. 88. P. 2614–2621. DOI: 10.1021/j150656a038 (date of access: 10.11.2020).

3. Galinski M., Lewandowski A., Stepniak I. Ionic liquids as electrolytes [Electronic resource] // Electrochim. Acta. 2006. Vol. 51, Iss. 26. P. 5567–5580. DOI: 10.1016/j.electacta.2006.03.016 (date of access: 10.11.2020).